



Tielaitos

Masuunihiekkastabilointi



**Tielaitoksen
selvityksiä
26/2000**

Helsinki 2000

Tielaitos
Tuotanto

Tielaitoksen selvityksiä
26/2000

Masuunihiekkastabilointi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-656-1
TIEL 3200614

Edita Oy
Helsinki 2000

Julkaisua myy:
Tielaitoksen julkaisumyynti
Telefax 0204 44 2652
S-posti elsa.juntunen@tielaitos.fi



Tielaitos,
TUOTANTO, Pääkonttori
PL 73
00521 HELSINKI
Puh. 0204 44 150

Masuunihiekkastabilointi. (Granulated blast-furnace slag stabilization). Tielaitos, Konsultointi, Pääkonttori. Helsinki 2000. Tielaitoksen selvityksiä 26/2000. ISSN 0788-3722, ISBN 951-726-651-1. TIEL 3200614

Asiasanat: sivutuotteet, stabilointi, rakennekerrokset
Aiheluokka: 32; 55

TIIVISTELMÄ

Masuunihiekka on hitaasti sitoutuva, huokoinen, hiekanomainen rakennusmateriaali. Masuunikuonaa syntyy sivutuotteena raudan valmistuksen yhteydessä ja kuona voidaan granuloida. Tätä tuotetta kutsutaan granuloiduksi masuunikuonaksi tai masuunihiekaksi. Sen edullista raekokojakaumaa ja sitoutumisominaisuutta voidaan käyttää tehokkaasti hyväksi parannettaessa vanhoja tierakenteita stabilointimenetelmällä (masuunihiekkastabilointi).

Masuunihiekkastabiloinnissa vanha päällyste sekä vanha, kantavuutensa menettänyt ja rakeisuudeltaan hienontunut tien päällysrakenne voidaan käyttää uudelleen sekoittamalla siihen tarvittava määrä masuunihiekkaa ja tarvittava vähäinen määrä sitoutumisprosessin käynnistäjänä ja ylläpitäjänä (aktivaattorina) toimivaa sideainetta (MHST-A).

Mitoituksen lähtökohtana on, että masuunihiekkastabiloitu rakenne saavuttaa noin 3,0 Mpa:n lopullisen puristuslujuuden arvon 365 vrk:ssa. Tarvittava masuunihiekan määrä selvitetään ennakkokokein suhteuttamalla jyrstyä päällystettä, vanhan tierakenteen runkoainesta ja masuunihiekkaa.

MHST (masuunihiekkastabilointi)
Sideainetta käytetään 7-15 %:n ennakkokeista riippuen.

MHST-A (aktivoitu masuunihiekkastabilointi)
Sideainetta käytetään 4- 6% ja aktivaattoria 0,5-1,5 %
ennakkokokeista riippuen.

Masuunihiekkastabilointi on edullinen työmenetelmä. Se mahdollistaa olemassa olevien rakennemateriaalien uusiokäytön sekä erittäin lyhyen työajan ja siitä johtuen vähäiset haitat liikenteelle. Vanhan päällysterouheen määrä saa olla korkeintaan 30-50% stabiloitavan kerroksen vahvuudesta. Rouhe lisää rakenteen joustavuutta.

MHST
Stabiloinnissa suoritetaan homogenisointijyrstintä, muotoilu, masuunihiekan levitys sekä stabilointijyrstintä ja tiivistys.

MHST-A
Stabiloinnissa suoritetaan homogeenisointijyrstintä, muotoilu, masuunihiekan levitys, aktivaattorin levitys sekä stabilointijyrstintä ja tiivistys.

Masuunihiekkastabilointi. (Granulated blast-furnace slag stabilization). Tielaitos, Konsultointi, Pääkonttori. Helsinki 2000. Tielaitoksen selvityksiä 26/2000. ISSN 0788-3722, ISBN 951-726-651-1. TIEL 3200614

Key words: by-products, stabilisation, pavement construction layers

ABSTRACT

Granulated blast-furnace slag is a slowly hardening porous construction material, which resembles sand. Blast-furnace slag is produced as a by-product in iron production. The slag can be granulated. The advantageous grading as well as hardening properties can be exploited in reconstruction of old roads by using stabilisation. (granulated blast-furnace slag stabilisation)

In stabilisation the old bituminous surface and old deteriorated construction, having increased amount of fines and lowered bearing capacity, can be used. A suitable amount of granulated blast-furnace slag and a small amount of cement as the activator will be mixed into old road materials (MHST-A).

The principle of conditioning is that the construction will attain the final compressive strength of about 3,0 MPa in the age of 365 days. Preliminary tests shall be made to find out the needed amount of granulated blast-furnace slag. The amount will be determined by conditioning milled asphalt pavement, material from old construction and granulated blast-furnace slag.

MHST (granulated blast-furnace slag stabilisation)

Binder will be needed 7 to 15 % depending on the preliminary tests.

MHST-A (activated granulated blast-furnace slag stabilisation)

Binder will be needed 4 to 6 % and activator 0,5 to 1,5 % depending on the preliminary tests.

Granulated blast-furnace slag stabilisation is an economical method. It makes possible the reuse existing construction materials, short construction periods and small disadvantages for the traffic. The amount of old milled bituminous pavement material can be at most 30 to 50 % of the thickness of the stabilised layer. Milled material increases the flexibility of the construction.

MHST stabilisation contains agitation milling, shaping, laying of the granulated blast-furnace slag and compaction.

MHST-A stabilisation contains agitation milling, shaping, laying of the granulated blast-furnace slag, spreading of the activator, mixing and compaction.

ALKUSANAT

Tämä julkaisu korvaa Tielaitoksen julkaisun 13/1996 "Masuunihiekka-stabilointi" Tiedot on päivitetty ajankohtaa vastaavaksi. Kuluneella aikavälillä tapahtuneet menetelmän kehittämisaskellukset on niin ikään kirjattu.

Julkaisu sisältää suunnitteluohjeen ja työselityksen. Ohjeet perustuvat laajoihin tutkimuksiin ja pitkäaikaisiin käytännön kokemuksiin sekä erityisesti niistä saatuihin tuloksiin. Masuunihiekkaa on 1990-luvulla käytetty systemaattisesti kantavien kerrosten stabiloinnin sideaineena erityisesti Oulun läänin alueella.

Ohjeitten tarkastustyöstä ovat vastanneet DI Juhani Matinheikki Tuotannon pääkonttorista, ins. Esko Laitinen ja työnjohtaja Lauri Lehtomäki PP-yksiköstä, rkm. Kari Kauppinen Oulun urakointiyksiköstä, rkm Eero Korte Oulun tiepiiristä, rak.päällikkö Jari Lappi SKJ-yhtiöt Oy:stä, myyntipääll. Marko Mäkikyrö Rautaruukki Oy:sta, tekn.lis. Lauri Liimatta Oulun yliopistosta sekä toimitusjohtaja Pentti Juola Andament Oy:stä.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	MÄÄRITELMIÄ	7
2.1	Masuunihiekka	7
2.1.1	Valmistus	7
2.1.2	Kemiallinen koostumus	8
2.1.3	Sitoutumisreaktio	8
2.1.4	Ympäristövaikutukset	9
2.2	Masuunihiekkastabilointi (MHST)	9
2.3	Aktivoitu masuunihiekkastabilointi (MHST-A)	9
3	MASUUNIHIEKKASTABILOINNIN KÄYTÖN PERUSTEET	9
3.1	Valintaan vaikuttavat tekijät	9
3.1.1	Liikenne	9
3.1.2	Itsekorjautumisominaisuus	9
3.1.3	Pitempi työskentelyaika	10
3.1.4	Rakenteen käyttöiän jatkaminen	10
3.2	Kiviaineksen rakeisuuteen vaikuttaminen	10
3.2.1	Roikkuvan rakeisuuskäyrän korjaaminen	10
3.2.2	Hienoainesmäärään vaikuttaminen	10
3.2.3	Raekokojakauman täydentäminen	10
3.3	Lujittuva vaikutus	11
4	ESITUTKIMUKSET	11
4.1	Runkoainetutkimukset	11
4.1.1	Runkoaineen rakeisuus	11
4.1.2	Runkoaineen humusluokka	12
4.1.3	Runkoaineen muut ominaisuudet	12
4.2	Masuunihiekan ja sementtiaktivaattorin määrä	12
4.3	Koekappaleen valmistus	12
4.3.1	Tekotapa	12
4.3.2	Säilytys	13
4.3.3	Koestusikä	13
4.3.4	Koestustapa	13
5	SUUNNITTELU JA MITOITUS	13
5.1	Kantavuus- ja analyttinen mitoitus	13
5.2	Mitoituskäyrät	15
5.2.1	Kantavuusmitoitus	15
5.2.2	Analyttinen mitoitus	17
5.3	Mitoitusesimerkki	18

RAKENTAMISEN TYÖSELITYS

6	RAKENTAMINEN	20
6.1	Paikallaan sekoitus	20
6.1.1	Esijyrsintä	20
6.1.2	Masuunihiekan levitys	20
6.1.3	Masuunihiekan kastelu	20
6.1.4	Stabilointijyrsintä	20
6.1.5	Tasaus	21
6.1.6	Tiivistys	21
6.2	Asemasekoitus	21
6.3	Jälkihoito	21
7	LAADUNVALVONTA	21
7.1	Esijyrsityn massan rakeisuus	22
7.2	Stabilointijyrsintä	22
7.3	Vesipitoisuus	22
7.4	Masuunihiekan levitys	22
7.5	Aktivaattorin levitys	23
7.6	Tasaus	23
7.7	Tiiviys	24
7.8	Kerrospaksuus	24
7.9	Puristuslujuus	24
7.10	Jälkiseuranta	25
8	RAPORTOINTI	25
9	LÄHDELUETTELO	26

1 JOHDANTO

Tiestömme luonteenomaisimpia vaurioita ovat uraisuus ja halkeamat, joihin syy on useimmiten roudan sulamisen aikainen huono kevätkantavuus. Tämä saattaa johtua myös kantavan kerroksen yläosan hienonemisesta jopa routivaksi jo teon aikana ja myöhemmin päällysteen alla liikenteen aiheuttamien rasitusten vaikutuksesta.

Lähitulevaisuudessa on huomiota kiinnitettävä olemassa olevaan tieverkkoon ja nimenomaisesti sen rakenteiden kehittelyyn sekä työmenetelmien kehittämiseen niin, että nämä johtaisivat taloudellisesti edulliseen lopputulokseen ja antavat lopputuotteelle mahdollisimman pitkän käyttöiän. Kestävän kehityksen ja elinkaariajattelun periaatteet tulee olla keskeisesti kehittämisessä mukana.

Reunaehdot täyttävä rakenneratkaisu ja työmenetelmä on itseasiassa jo käytössä. Se on terästeollisuuden sivutuotteena syntyvän masuunihiekan käyttö masuunihiekkastabilointina. Rakennetta sekä siihen liittyviä työmenetelmiä voidaan taloudellisesti käyttää koko maassa. Näitä rakenteita on käytetty systemaattisesti 1990-luvun alusta lähtien. Kehittämishistoria on kuitenkin pitempi. Kehittämiseen ovat yhtäältä vaikuttaneet kokemukset ja selvitykset kantavan kerroksen yläosan hienonemisesta työstämisen ja liikenteen vaikutuksen alaisena sekä toisaalta terästeollisuuden masuunikuonajalosteen käyttömahdollisuus näiden vaurioiden korjaamiseen.

Masuunihiekkaa sekä masuuni- ja terässulaton # 0-4 m:n kuonamurskeita kokeiltiin ja käytettiin sellaisenaan tai erilaisina seoksina 1980-luvun alkupuolella koerakenteissa kantavan kerroksen yläosan rakeisuuden parantamiseksi.

Näiden koerakenteiden antama kokemus ja niistä saadut erittäin hyvät lujuus- ja kantavuusarvot olivat aikanaan lopullinen sysäys kestävän kehityksen mukaisten rakenteiden ja työmenetelmien kehittämiseksi.

1980-luvun loppupuolella uusien tehokkaiden ka-lustojen tulo markkinoille vaikutti ratkaisevasti masuunihiekkastabiloinnin käytön lisäämiseen laadun parantuessa tuntuvasti ja hintojen alentuessa selvästi. Tällöin myös erilaisten liitännäistyömenetelmien käyttö lisääntyi ja lisäsi edelleen päätyömenetelmän edullisuutta.

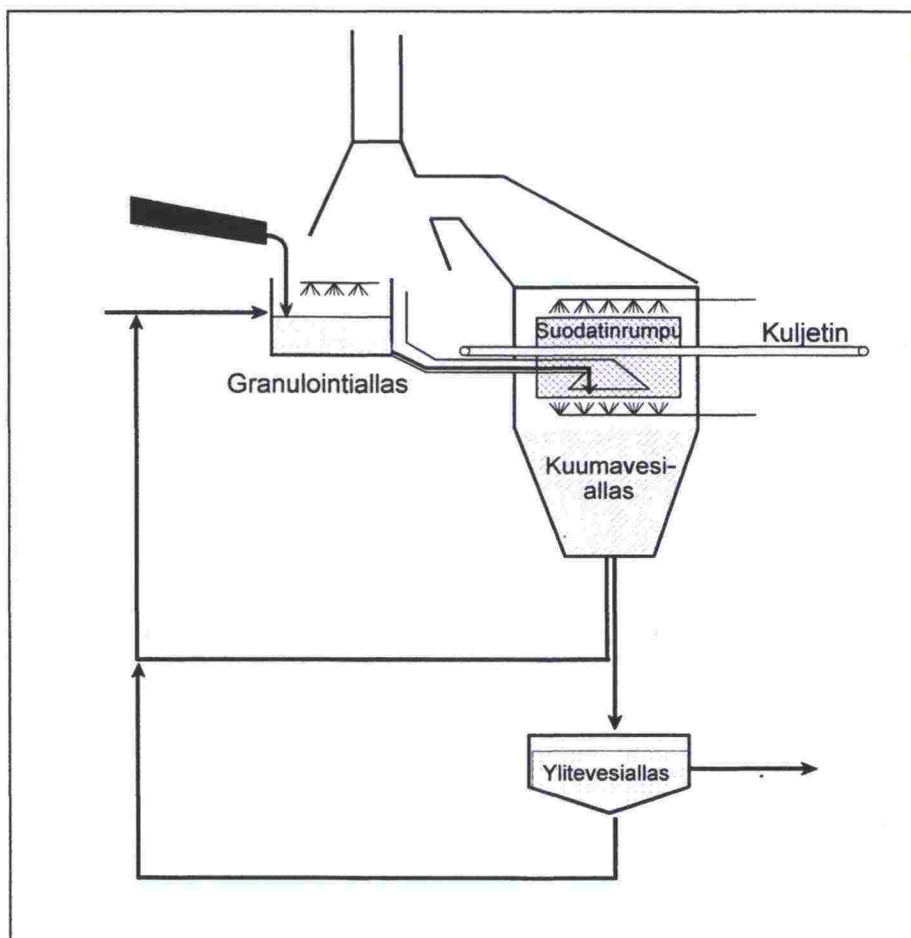
Käytetyn menetelmän etuihin kuuluivat alunalkaen ympäristöystävällisyys (paikallarakentaminen, luonnonvarojen säästö), työnaikaiselle liikenteelle aiheutetut konventionaalisia työmenetelmiä huomattavasti vähäisemmät haitat sekä elinkaariajattelun mukaisuus.

2 MÄÄRITELMIÄ

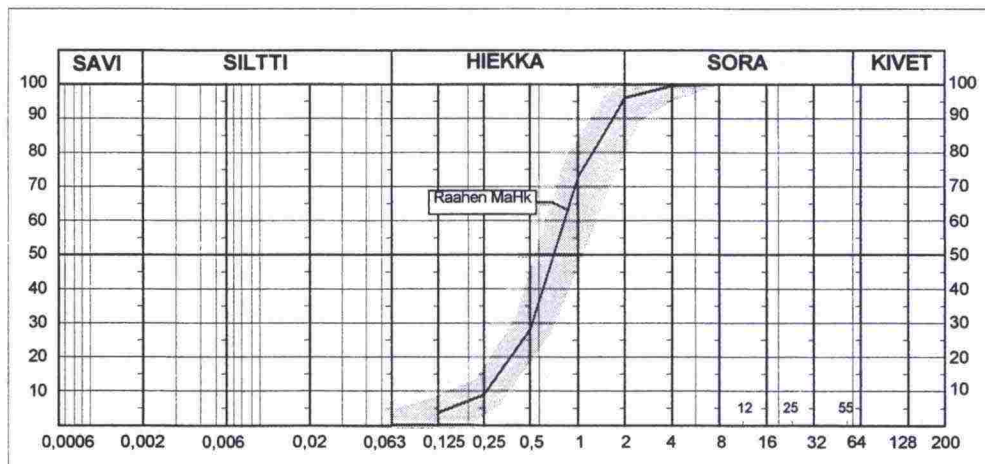
2.1 Masuunihiekka

2.1.1. Valmistus

Masuunihiekka on terästeollisuuden uusiotuote, jonka raekoko on 0-4 mm. Masuunihiekka valmistetaan sulasta masuunikuonasta jäädyttämällä se vesisuihkulla eli granuloimalla. Masuunihiekan valmistuksesta on kaavio kuvassa 1. Masuunihiekan irtotiheys on 1,0 - 1,1 t/m³. Tyypillinen rakeisuuskäyrä on kuvassa 2.



Kuva 1: Masuunihiekan valmistus



Kuva 2: Masuunihiekan rakeisuuden ohjealue sekä Raahen terästehtaan masuunihiekan tyypillinen raekokojakauma

Masuunihiekkaa valmistetaan Suomessa terästehtailla vuosittain n.550.000 tonnia.

Käytettäessä masuunihiekkaa stabilointiin 20 kg/m^2 voidaan vuotuisella tuotantomäärällä stabiloida noin 3400 kilometriä tietä.

2.1.2 Kemiallinen koostumus

Masuunihiekan kemiallinen koostumus on samantapainen kuin sementillä. Masuunihiekka sisältää pääasiassa kalsium-, magnesium-, pii- ja alumiiniyhdisteitä. Liitteessä 1. on esitetty masuunihiekan kemiallinen koostumus.

2.1.3 Sitoutumisreaktio

Masuunihiekalla on sitoutumisominaisuuksia, ts. sillä voidaan saada aikaan maabetonimainen rakenne. Rakenteen sitomisessa käytettävä masuunihiekan ja mahdollisen aktivaattorin määrä määritellään tapauskohtaisesti ennakkotutkimuksin, kohdan 4.3 mukaisesti.

Sitoutumisreaktio on varsin hidas. Pääosiltaan lujuuskehitys tapahtuu 3 kk:n kuluessa.

Hidas sitoutumisaika antaa eräitä merkittäviä etuja:

- kutistumahalkeamien syntyminen on vähäistä
- erilaisten lisätyömenetelmien käyttö stabiloinnin yhteydessä ja mahdollistuu kohtuullisessa ajassa (3 - 5 h sen jälkeen) mahdollistuu
- mikäli rakenne on sidottu masuunihiekalla, on käytännön kokemuksenkin perusteella voitu osoittaa, että rikottu rakenne sitoutuu uudestaan. Sen mahdollistaa iso raekoko (0 - 4 mm) ja lasimaiset raepinnat, jotka ovat edellytyksenä uudelle sitoutumiselle.

2.1.4 Ympäristövaikutukset

Masuunihiekka on kemialliselta koostumukseltaan emäksinen materiaali. Masuunihiekan happoliukoisen sulfaatin pitoisuus on alhainen (alle 0,1 %) rikin ollessa sitoutunut pääasiassa kalsiumsulfidiin. Kalsiumsulfidi reagoi veden kanssa muodostaen kalsiumhydroksidia, joka toimii myös aktivaattorina. Rikki on masuunihiekassa pelkistyneessä muodossa, mutta voi ilman vaikutuksesta hapettua pienessä määrin.

Tehtyjen selvitysten perusteella masuunihiekka ei sisällä raskasmetalleja eikä muitakaan haitallisia sivuaineita, eikä siitä liukene ympäristöön vaarallisia aineita. VTT:n lausunnon mukaan masuunihiekkaa voidaan käyttää tienrakentamisessa myös pohjavesialueilla / 5, 6, 10 /.

2.2 Masuunihiekkastabilointi (MHST)

Masuunihiekkastabiloinnilla tarkoitetaan rakentamisessa ja perusparantamisessa käytettävää menetelmää. Menetelmällä parannetaan tien tai muun liikennealueen kuormituskestävyyttä sitomalla niiden rakennekerroksia pelkällä masuunihiekalla.

Stabilointi voidaan suorittaa paikallasekoituksena vanhan tierungon materiaaleja hyödyntäen.

2.3 Aktivoitu masuunihiekkastabilointi (MHST-A)

Sitoutumisen nopeuttamiseen voidaan stabiloinnissa käyttää aktivaattoria, joka yleensä on sementtiä. Aktivaattorin määrä vaihtelee 0,5 - 1,5 % runkoaineen kuivapainon määrästä.

3 MASUUNIHIEKKASTABILOINNIN KÄYTÖN PERUSTEET

3.1 Valintaan vaikuttavat tekijät

3.1.1 Liikenne

Liikenteen määrällä ei ole merkitystä masuunihiekkastabiloinnin soveltuvuutta harkittaessa. Menetelmä sopii käytettäväksi sekä uusien teiden rakentamiseen että vanhojen teiden rakenteiden parantamiseen.

3.1.2 Itsekorjautumisominaisuus

Masuunihiekkastabiloitu kerros jatkaa sitoutumistaan liikenteen alla useita kuukausia. Rakenteen saavuttaessa lopullisen tiiveytensä ja muotonsa stabiloidun kerroksen kivi- ja masuunihiekkarakeiden väliset sidokset jäävät pysyviksi ja rakenne stabiloituu.

Jos masuunihiekkastabiloitu rakenne epätasaisen routanousun tai liikennekuormituksen vaikutuksesta rikkoontuu, se ei aiheuta rakenteelle pysyviä vaurioita, sillä masuunihiekan sitoutumisreaktio tapahtuu rakeen pinnalla ja pinnan rikkoutuessa reaktio käynnistyy uudella raepinnalla.

3.1.3 Pitkä työskentelyaika

Masuunihiekkastabiloidun rakenteen sitoutumisprosessi on hidas. Se on etu nopeasti sitoutuvilla sideaineilla suoritettuun stabilointiin verrattuna, sillä päällystämisaikojen tai muiden työjärjestelyiden ja liikenteen hoidon kannalta se mahdollistaa pidemmän työskentelyajan.

3.1.4 Rakenteen käyttöiän jatkaminen

Kantavan kerroksen murskeella on taipumus hienontua liikennekuormituksen vaikutuksesta vuosien myötä. Hienoaineksen lisääntymisen myötä alkuaan routimaton materiaali muuttuu vähitellen routivaksi, rakenne väsyä sekä menettää kantavuutensa. Lopulta se alkaa deformatua ja vaurioitua.

Stabiloitaessa masuunihiekalla rakenne saadaan tierakenteen käyttöikää jatkettua. Kansantaloudellisesti menettelyllä on merkitystä, sillä se edistää materiaalien uusiokäyttöä sekä säästää niukkenevia luonnonvaroja, jatkaa tien käyttöikää sekä vähentää toteuttamis- ja ylläpitokustannuksia.

3.2 Kiviaineksen rakeisuuteen vaikuttaminen

3.2.1 Roikkuvan rakeisuuskäyrän korjaaminen

Kalliomurskeiden rakeisuuskäyrät saattavat usein olla "roikkuvia" ts. niissä on vähän hienoainesta. Materiaalin ominaisuuksia voidaan parantaa, jos siihen lisätään puuttuvia hienorakeita. Masuunihiekka on rakeisuudeltaan 0 – 4 mm ja se sopii sellaisenaan suhteutettavaksi roikkuva-tyyppiseen materiaaliin, jossa se korjaa materiaalin rakeisuuskäyrää sekä parantaa rakenteen työstettävyyttä ja tiivistettävyyttä. Sitoutumisen myötä rakenteen kantavuus- ja kestävyysominaisuudet lisääntyvät.

3.2.2 Hienoainesmäärään vaikuttaminen

Kantavuutensa menettäneen ja routivaksi muuttuneen kantavan kerroksen materiaalin hienoaineksen suhteellinen osuus on lisääntynyt. Materiaali, jonka hienoainespitoisuus $\# 0,063$ mm:n seulalla on yli 7 %, on luokituksen mukaan routivaa. Lisäämällä tällaiseen materiaaliin masuunihiekkaa 0 – 4 mm, jonka hienoainespitoisuus on alhainen, materiaali karkeutuu ja sen kantavuusominaisuudet paranevat. Samalla masuunihiekan stabiloituessa se sitoo hienoaineksen karkeammaksi rakeiksi.

3.2.3 Raekokojakauman täydentäminen

Masuunihiekkaa voidaan käyttää myös tavanomaisen kiviaineksen raekokojakauman täydentämiseen tapauksessa, jossa kiviaines on seulakoolla 6...7 mm katkaistua ylitettävä. Suhteuttamalla tällainen katkaistu

runkoaines ja 0 –4 mm:n masuunihiekka saadaan jatkuvakäyräinen kiviaines, joka sopii käytettäväksi jakavaan ja/tai kantavaan kerrokseen.

3.3. Lujittava vaikutus

Masuunihiekan hydratoitumisprosessia voidaan nopeuttaa sopivaa aktivaattoria käyttäen. Lujittumisen määrään voidaan vaikuttaa aktivaattorin ja masuunihiekan määrää vaihtelemalla. Suurempi kuivairtotiheys johtaa yleensä nopeampaan lujuudenkehitykseen ja korkeampaan lujuustasoon.

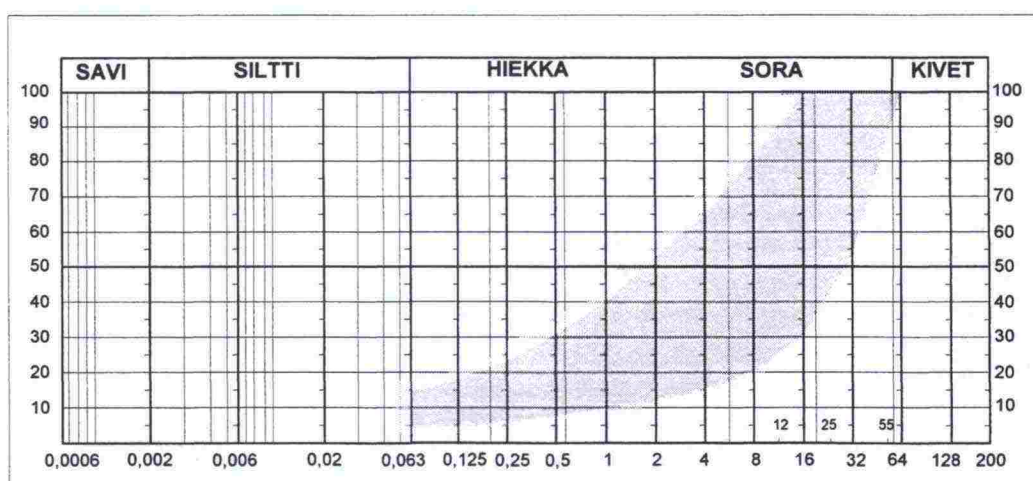
4. ESITUTKIMUKSET

4.1 Runkoainetutkimukset

4.1.1 Runkoaineen rakeisuus

Vanhasta tierakenteesta on otettava kerrosnäytteitä riittävän edustavasti, että tehtävien rakeisuusmääritysten perusteella materiaalin muutoskohdat saadaan luotettavasti selville. Rakeisuus määritetään pesuseulonnalla. Samalla määritetään myös materiaalin vesipitoisuus.

Stabiloitavan rakennekerrosmateriaalin rakeisuuskäyrän tulee olla kuvassa 3 esitetyllä alueella.



Kuva 3: Stabiloitavan rakennekerrosmateriaalin ohjealue

Työmaalle toimitetusta masuunihiekasta voidaan tehdä pistokokein rakeisuusmäärittäksiä. Rakeisuuden tulee pysyä kuvassa 3 osoitetulla ohjealueella.

4.1.2 Runkoaineen humusluokka

Runkoaineen humusluokka määritetään NaOH-testillä. Humusluokat 0 – I eivät vaadi aktivaattorin lisäystä. Humusluokat II – IV aktivaattorin (sementti) lisäystarve määritellään ennakkokokein. Humusluokat II – IV eivät välttämättä vaadi aktivaattoria, mikäli kerrosmateriaalin E-modulin arvo on $> 200 \text{ MN/m}^2$.

4.1.3 Runkoaineen muut ominaisuudet

Optimivesipitoisuus ja maksimi tilavuuspaino sekoitetulle materiaalille määritetään parannetulla Proctor-kokeella.

Masuunihiekka ja aktivaattori tarvitsevat sitoutuakseen vettä, joten 1 %:n ylimäärä vettä seoksessa ei ole haitallinen, joskin vesi-sideaine-suhde määrää lopullisen lujuuden.

4.2 Masuunihiekan ja sementtiaktivaattorin määrä

Mitoituksen lähtökohtana on, että masuunihiekkastabiloitu rakenne saavuttaa noin 3,0 MPa:n puristuslujuuden arvon 365 vrk:ssa. Tähän tarvittavat masuunihiekan ja aktivaattorin määrät selvitetään ennakkokokein.

Aktivaattorina käytetään mm. sementtiä, kuonajauhetta, kalkkia tai CaCl_2 . Sopiva masuunihiekan määrä on kiviaineksen laadusta riippuen yleensä 4 – 6%, kun aktivaattoria käytetään 0,5 – 1,5 %. Jos aktivaattoria ei käytetä, on vaadittava masuunihiekkamäärä yleensä 5 – 15 %. Masuunihiekan ja aktivaattorin määrät lasketaan osuuksina koko sideaine / kiviainesseoksen kuivatilavuuspainosta ja ilmoitetaan kiloina neliometriä kohden (kg/m^2). Masuunihiekan ja aktivaattorin määrä pyritään säätämään siten, että koekappaleiden puristuslujuus 28 vrk:n ikäisenä on noin 1 – 2 MPa.

Mikäli puristuslujuus on suurempi kuin 3 MPa, vähennetään aktivaattorin ja/tai masuunihiekan määrää. Aktivoidussa masuunihiekkastabiloinnissa on käytettävä samaa aktivaattoria kuin ennakkokokeissa.

Optimaalisia aktivaattorin ja masuunihiekan määriä selvittäessä on huomattava, että vähäiselläkin aktivaattorin määrän lisäyksellä voi olla voimakas vaikutus 28 vrk:n puristuslujuuteen, toisin sanoen lopullinen lujuus saavutetaan nopeammin. Sen sijaan masuunihiekan määrän muutosten, varsinkin lisäämisen, vaikutukset lujuuteen ilmenevät huomattavasti hitaammin.

4.3 Koekappaleen valmistus

4.3.1 Tekotapa

Koekappaleet tehdään parannetulla Proctor-sullonnalla tai ICT-laitteella. Vesipitoisuutena seoksissa käytetään runkoaineelle saatua optimivesipitoisuutta, n. yhden prosenttiyksikön ylitys sallitaan olosuhteista ja aktivaattorin määrästä riippuen. Koekappaleita tulisi tehdä vähintään yksi

sarja kutakin reseptiä ja koestusikää varten. Koekappaleet tulee tasata huolella ennen muotista irrottamista.

4.3.2 Säilytys

Koekappaleet säilytetään huoneenlämpötilassa ($+20 \pm 2$ °C) erityisessä säilytysastiassa. Säilytysastian pohjalla on aina oltava vettä mutta koekappaleet eivät saa olla vedessä.

4.3.3 Koestusikä

Masuunihiekkastabiloinnin ennakkokokeiden koestus suoritetaan 7, 28 ja 91 (mahdoll. 365 vrk) vrk:n ikäisenä, koska masuunihiekkastabiloinnin lujuuden kehitys on hidas.

Aktivoidun masuunihiekkastabiloinnin ennakkokokeiden koestus suoritetaan 1, 7, ja 28 (mahd. 91 vrk) vrk:n ikäisenä. Reseptin valinta tehdään puristuslujuustulosten ja mahdollisen kantavuusmitoituksen perusteella, siten että 3,0 MPa lujuus saavutetaan 91 vrk:n ikäisenä. Liian suuri puristuslujuus saattaa aiheuttaa rakenteessa kutistumishalkeilua.

4.3.4 Koestustapa

Koekappaleista määritetään puristuslujuus (MPa). Koekappaleet pidetään vedessä ennen puristusta n. 4 h, millä varmistetaan että lujuuden kehitys on varmasti alkanut ja saadaan tasapuolinen koestustila. Koekappaleen päissä käytetään puristamisen aikana noin 4 mm:n paksuista kumilevyä. Pahasti vaurioituneet koelieriöitten päät on tasattava sementtilaastilla tai vastaavalla, jotta kuormitus jakaantuu tasan koekappaleeseen. Kuormitusnopeus on 2,5 kN/s.

5 SUUNNITTELU JA MITOITUS

5.1 Kantavuus- ja analyttinen mitoitus

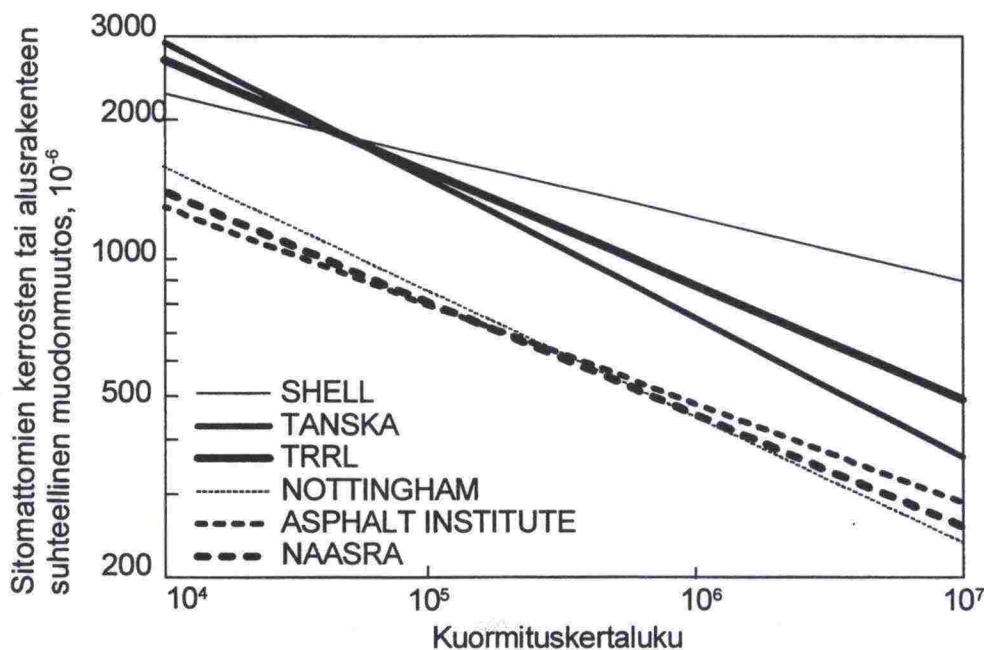
Masuunihiekalla stabiloitua kerrosta voidaan pitää puolijäykkänä kerroksena, jonka kuormituskäyttäytyminen poikkeaa bitumilla ja sementillä sidottujen kerrosten käyttäytymisestä. Tämän vuoksi masuunihiekalla stabiloidulle kerrokselle ei voida soveltaa suoraan jäykille kerroksille käytettyjä kestävyyskriteerejä, jotka riippuvat sidotun kerroksen alapinnan vetorasiuksista.

Masuunihiekkastabiloinnin kuormitusmitoitus voidaan tehdä perinteisellä kantavuusmitoituksella tai analyttisellä mitoitusmenettelyllä. Masuunihiekalla stabiloidun kerroksen kantavuusmitoitus tapahtuu kuten vastaavien sitomattomien kerrosten. Tavoitekantavuus määräytyy liikennekuormituksen ja tieluokan perusteella. Kantavuus lasketaan Odemarkin kaksikerroksaavalla alustan ja kerrosmateriaalien E-moduulien sekä kerrospaksuuksien perusteella.

Kantavuusmitoituksessa lähtökohtana ovat alustan kantavuus, käytettävän materiaalin laatu ja vaadittu tavoitekantavuus. Kenttäkokeiden perusteella masuunihiekalla sidotun kerroksen (puristuslujuus 3 MPa) staattisen moduulin arvo on kantavuusmitoituksessa 2000 MPa.

Analyttisessä mitoitusmenettelyssä lasketaan liikennekuormituksen aiheuttamat rasitukset tien eri kerroksissa. Tierakenteen kuormituskestävyys määritetään laskennallisten rasitusten ja kestoikämallien avulla. Masuunihiekalla stabiloidun kerroksen kriittisenä rasituksena voidaan pitää kerroksen alapinnan taivutusvetojännitystä. Tässä ohjeessa käytetään kuormituskestävyyden lähtökohtana masuunihiekkastabiloinnin alustan puristusjännitystä, mikä vaikuttaa myös stabiloidun kerroksen vetorasitukseen. Kenttäkokeiden perusteella masuunihiekalla sidotun kerroksen (puristuslujuus 3 MPa) dynaamisen moduulin arvo on analyttisessä mitoituksessa 2000 Mpa.

Masuunihiekkarakenteen sitomattoman alustan puristusrasitusten suhteen kestoikäkriteerin tulee olla sellainen, että liikennekuormituksen aiheuttamat muodonmuutokset jäävät riittävän pieniksi, jolloin stabiloitu kerros voi toimia sitoutuneena kerroksena. Tielaitoksen tekemissä suunnitteluohjeissa [Tielaitos 55/1997] masuunihiekkarakenteen alustan puristusmuodonmuutuskriteerinä käytettiin Asphalt Institutin mallia (kuva 4).



Kuva 4. Sallitun kuormituskertaluvun riippuvuus alusrakenteen (sitomattomaan kerroksen) pystysuorasta puristusmuodonmuutoksesta.

Sitomattoman kantavan ja jakavan kerroksen sekä sallitun kuormituskertamäärän välille voidaan käyttää kuvassa 4 esitettyä tanskalaista mitoituskriteeriä. Tässä ohjeessa masuunihiekalla stabiloidun kerroksen kuormituskestävyys on määritetty tanskalaisen puristusjännityskriteerin perusteella.

Parannettavilla teillä alustan kantavuus määräytyy pudotuspainolaitteella mitatusta taipumasuppilosta lasketun kantavuuden perusteella. Koska vanhaa tierakennettä stabiloitaessa alustan sijainti muuttuu stabiloitavan kerroksen paksuuden verran alaspäin, käytetään parannettavalle tierakenteelle laskelmissa alustan moduulina mitattua kantavuutta pienempää arvoa. Stabilointipaksuudesta riippuen alustan moduulia on pienennetty 10-20 MPa. Käytännössä stabolointi kuitenkin pienentää alusrakenteen jännitystä, jolloin myös hienorakeisen alusrakenteen moduuli kasvaa.

Taipumista takaisinlaskettujen kerrosten moduulien perusteella masuunihiekkalla stabiloidun kantavan kerroksen moduuli oli keskimäärin 15 kertainen alustan moduuliin verrattuna.

Uusia rakenteita mitoitettaessa stabiloidun kerroksen alustan moduulille käytetään dynaamista arvoa (taulukko1.)

Taulukko 1. Alusrakenteen kantavuus ja E –moduulit eri maalajeilla.

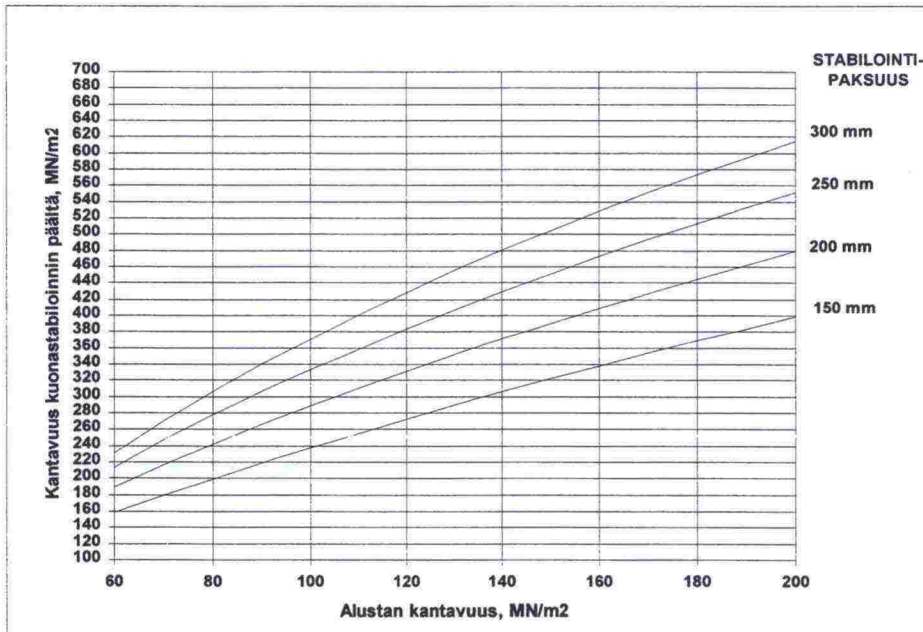
KANTAVUUSMITOITUS				ANALYYTTINEN MITOITUS	
ALUSRAKENTEEN KANTAVUUSLUOKITUS				ALUSTAN E-MODUULIN LUOKITTELU MAALAJIEN MUKAAN	
Maalaji	Lyhenne	Luokka	Kantavuus, [MN/m ²]	Luokka	Alustan E-moduuli, [MN/m ²]
Kallio	Ka (kallio) Lo (louhe) M (murske)	A	300	GW	300
Kivet	Ki	A	300		
Sora	Sr	B	200 (150...280)	GP	300
Soramoreeni	rton SrMr	C	100 (70...150)	GM, GC	200
	routiva SrMr	E	20 (15...35)		50
Hiekka	rton kaHk	C	100 (70...150)	SW	200
	rton keHk	D	50 (35...70)	SP	100
	rton hHk	D (E)	50 (35...70)	SP	100
	routiva keHk	E	20 (15...35)	SM, SC	50
	routiva hHk	E (F)	20 (15...35)	SM, SC	50
Hiekkamoreeni	rton HkMr	D (E)	50 (35...70)	SP	100
	routiva HkMr	E (F)	20 (15...35)	SM, SC	50
Siltti	Si	F (G,E)	10 (5...15)	OL	20
Silttimoreeni	SiMr				
Savi	kuivakuori Sa	E	20 (15...35)	CL	50
	sitkeä Sa	F (E)	10 (5...15)	OL	20
	pehmeä Sa	G	5	MH-OH	10
Lieju	Lj	G	5	Pt	10
Turve	Tv				

5.2 Mitoituskäyrät

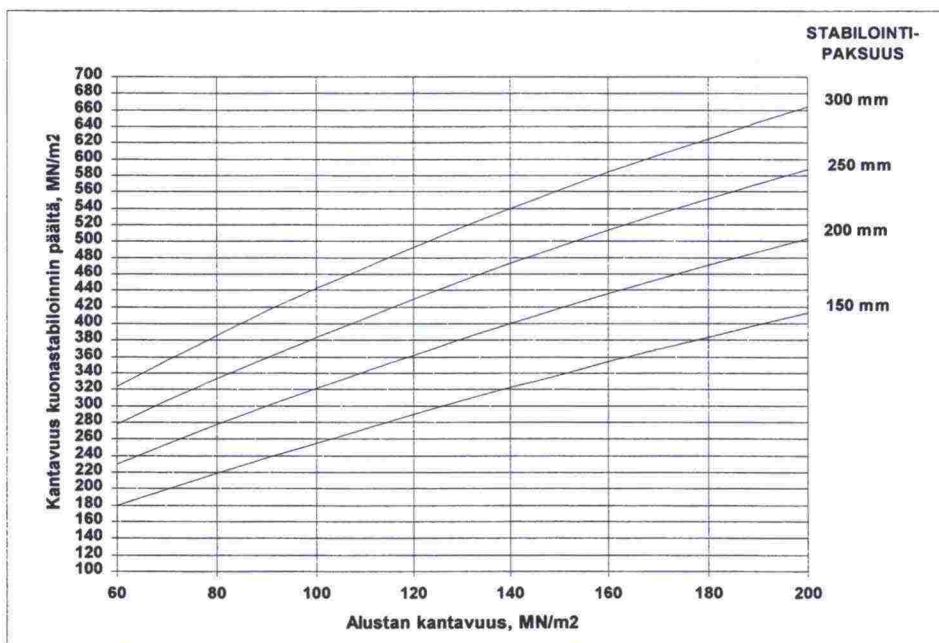
5.2.1 Kantavuusmitoitus

Kantavuusmitoituksessa masuunihiekkalla (+aktivaattori) stabiloidun kerroksen paksuus määritetään käyrästäoltä alustan moduulin ja tavoitekantavuuden perusteella. Alustan kantavuudella tarkoitetaan parannettavan tien

levykantavuusarvoa. Uudella rakenteella alustan kantavuus määritetään taulukon 1 mukaisesti. Masuunihiekalla stabiloidun kerroksen paksuus vaihtelee käyrästössä 150 ja 300 mm välillä. Parannettavan tierakenteen mitoituskäyrästä on esitetty kuvassa 5 ja uuden tierakenteen mitoituskäyrästä kuvassa 6.



Kuva 5. Masuunihiekalla stabiloidun kerroksen kantavuusmitoitus paranneltavalle tierakenteelle.

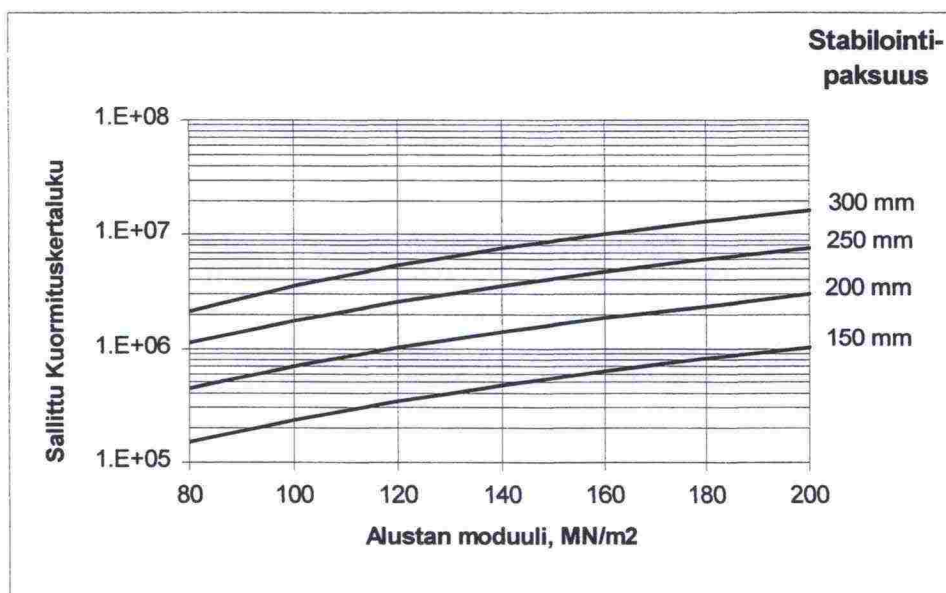


Kuva 6. Masuunihiekalla stabiloidun kerroksen kantavuusmitoitus uudelle tierakenteelle.

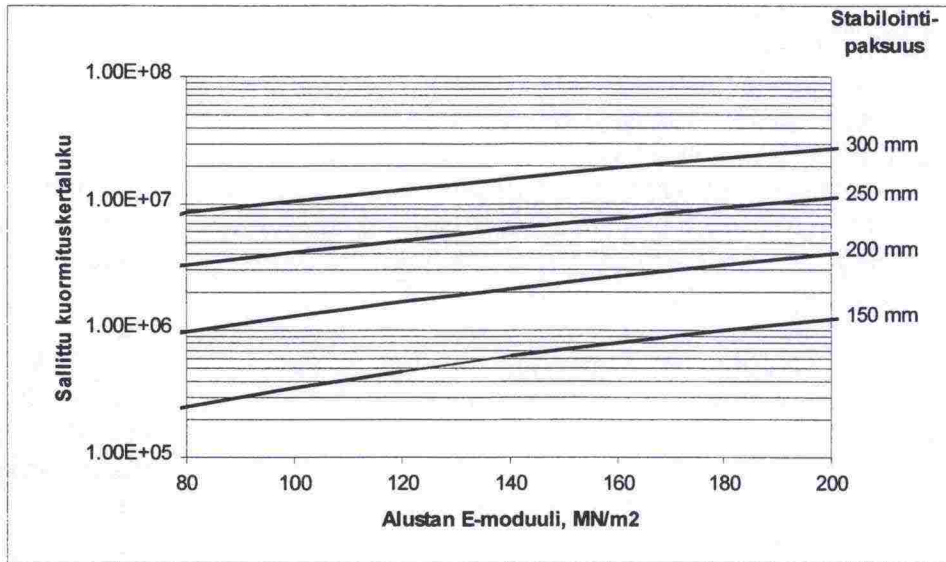
5.2.2 Analyyttinen mitoitus

Analyttisen mitoituksen käyrästäissä masuunihiekalla stabiloidun kerroksen paksuus määritetään alustan E-moduulin ja mitoitusajan kuormituskertaluvun perusteella. Parannettavalla tiellä alustan E-moduuli on vanhan tierakenteen pinnasta mitatusta maksimitaipumasta laskettu kantavuusarvo. Uudella tierakenteella alustan E-moduulin määrittämisessä käytetään taulukossa 1 esitettyjä dynaamisia moduuliarvoja.

Masuunihiekalla stabiloidun kerroksen paksuus vaihtelee mitoituskäyrästäissä 150 ja 300 mm välillä kuten kantavuusmitoituksessa. Käyrästäöjen laadinnassa on otettu huomioon masuunihiekkastabiloinnin päälle tuleva 50 mm päällyste. Parannettavan tierakenteen mitoituskäyrästäö on esitetty kuvassa 7 ja uuden tierakenteen mitoituskäyrästäö kuvassa 8.



Kuva 7. Masuunihiekalla stabiloidun kerroksen analyttinen mitoitus parannettavalle tierakenteelle.



Kuva 8. Masuunihiekkalla stabiloidun kerroksen analyttinen mitoitus uudelle tierakenteelle.

5.3 Mitoitusesimerkki

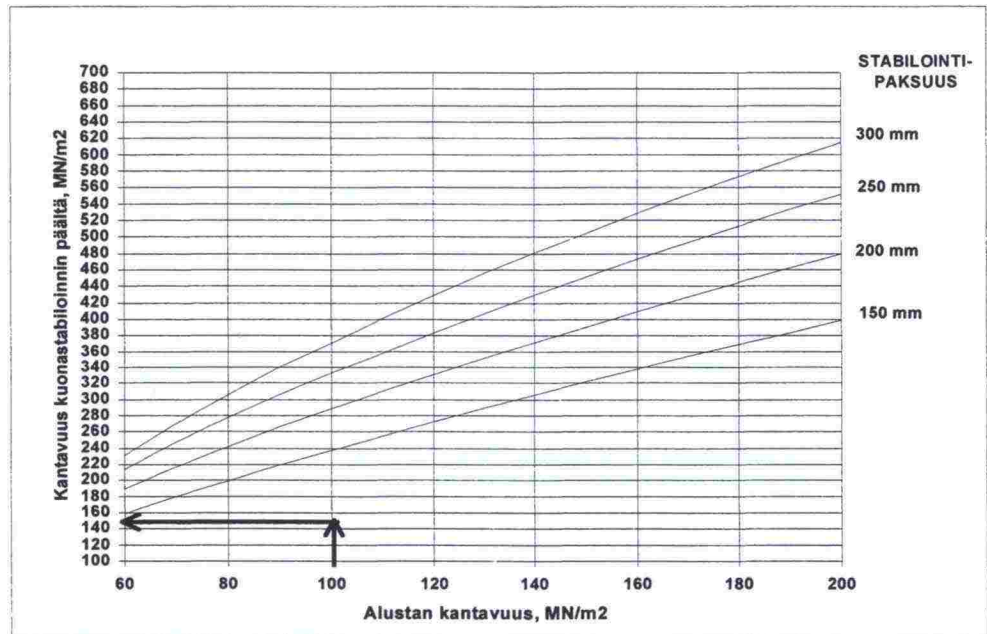
Tehtävänä on mitoittaa parannettavalle tierakenteelle masuunihiekkalla stabiloitavan kerroksen paksuus, kun lähtötiedot ovat seuraavat:

- Tierakenteen pinnasta mitattu kantavuus 100 MPa.
- Kuormituskertaluku $3 \cdot 10^6$
- Päällysrakenneluokka 5AB.

Kantavuusmitoitus

Kantavuusmitoituksessa päällysrakenneluokan 5AB tavoitekantavuus on päällysteen päältä 175 MPa ja päällysteen alta 145 MPa. Tavoitekantavuus saavutetaan tässä tapauksessa stabiloimalla masuunihiekkalla nykyisen tierakenteen päällysrakenteen yläosaa. Valitaan alustan kantavuus 90 MPa ja tavoitekantavuus päällysteen alla 145 MPa (kuva 9). Näiden arvojen perusteella tarvittavaksi stabilointipaksuudeksi tulee minimiarvo 150 mm.

Lopullinen rakenne: AB 40 mm + Masuunihiekkastabilointi 150 mm

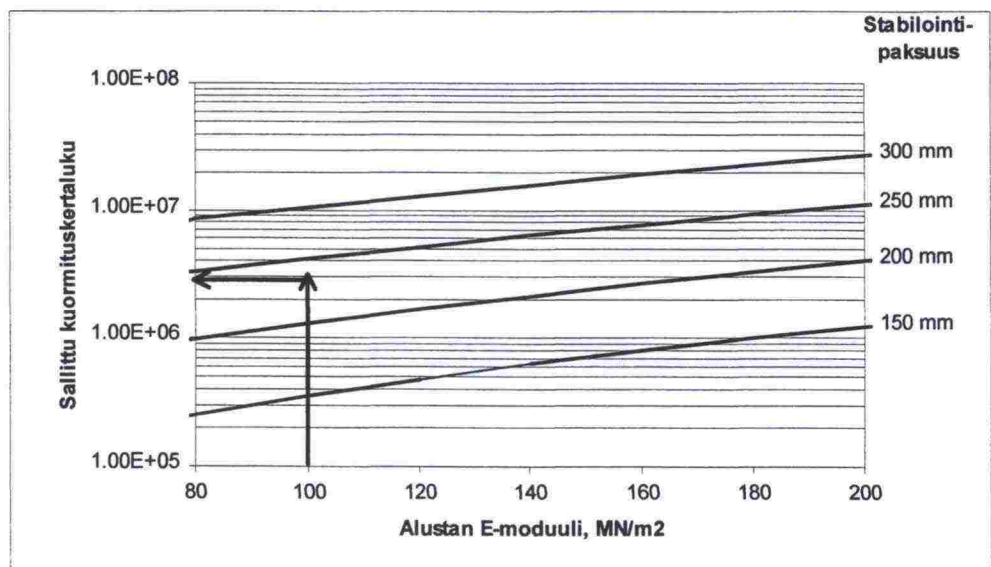


Kuva 9 . Kantavuusmitoituksen esimerkki.

Analyyttinen mitoitus

Analyttisessä mitoituksessa lähtökohtana on mitoitusajan kuormituskertaluku ja alustan dynaaminen E -moduuli. Parannettavalla tierakenteella moduulina käytetään alustan kantavuusarvoa, joka on tässä tapauksessa 100 MPa. Mitoitus etenee siten, että valitaan käyrästä vaadittu kuormituskertaluku $3 \cdot 10^5$ ja alustan moduuli (kuva 10). Näiden arvojen perusteella saadaan määritettyä tarvittava stabilointipaksuus, joka on tässä tapauksessa 250 mm.

Lopullinen rakenne: AB 40 mm + Masuunihiekkastabilointi 250mm.



Kuva 10. Analyttisen mitoituksen esimerkki .

RAKENTAMISEN TYÖSELITYS

6 RAKENTAMINEN

6.1 Paikallaan sekoitus

Menetelmä soveltuu kaikille liikennealueiden rakenteille mitoitusluokituksen ja rakennelaadun mukaan.

6.1.1 Esijyrsintä

Esijyrsinnällä voidaan suorittaa kevytpäällysteiden rikkomista ja kerrosten homogeenisoimista. Esiyrsintää voidaan tehdä tarpeen mukaan aina 350 mm asti. Esiyrsintätyöryhmä etenee 2-5 työvuoroa edellä stabilointityöryhmästä, jotta masuunihiekka ja mahdolliset lisämateriaalit saadaan tielinjalle ja että linja-autopysäkit, liittymät ym. alueet saatetaan oikeaan tasoon ja muotoon ennen stabilointia. Esijyrsinnän jälkeen riittävästi tiivistetyn rakenteen muotoilun tulee täyttää lopulliset rakenteen mittavaatimukset, jolla taataan tasavahva stabiloitu kerrospaksuus.

6.1.2 Masuunihiekan levitys

Masuunihiekan ja aktivaattorin levitys suoritetaan työhön kehitetyllä levittimellä määräleveyteen ja määrään (kg/m²). Masuunihiekka voidaan levittää tielinjalle ennakoon n. 1 – 3 työvuoroa stabilointia aikaisemmin liikenteen hoitoa varten.

6.1.3 Kastelu

Kerrosmateriaalin kastelu voidaan tehdä ennakoon tielinjalle optimivesipitoisuuteen. Sideaineen levityksessä on huomioitava, ettei tielinjalla ole vesilammikoita. Kastelun voi myös suorittaa suoraan sekoittimen rummulle suuttimien kautta. Kastelussa on huomioitava, ettei saumaan tule kaksinkertaista kastelua tai jää kuivaa kaistaa. Kerroksen pintakastelua tehdään esim. kasteluautolla.

6.1.4 Stabilointijyrsintä

Stabilointijyrsiminä käytetään massiivisia ja leveitä jyrsimiä, näin saadaan hyvä kerroksen homogeenisuus ja tasavahva kerroslaatta. Ajokertojen limitys on oltava vähintään 0,15 m ja tierakenteen kaksipuolisella kallistuksella keskisauman ylitys saa olla enintään 0,5 m. Alkutiivistys suoritetaan välittömästi sekoittimen perässä. Täten estetään kosteuden haihtumista ja saadaan liikenteelle kelvollinen ajotaso.

6.1.5 Tasaus

Stabiloidun rakenteen tasaus ja muotoilu suoritetaan tiehöylällä vaadittuun tasoon, pituus- ja poikkisuuntaiseen oikeaan muotoon. Stabiloinnin päälle voidaan levittää tarvittaessa päällystettä tasausmassana tai päällysterouhetta, mikäli stabiloitava kerros on epähomogeenista eikä saavuteta tarvittavaa tasaisuutta päällystämistä varten. Missään olosuhteissa stabiloidun kerroksen päälle ei saa levittää sitomattomia ohuita kerroksia / 7 /.

6.1.6 Tiivistys

Tiivistys suoritetaan itse kulkevilla jyrillä. Ajokertoja tehdään tarpeellinen määrä, jotta vaadittu tiiviysaste saavutetaan. Tiivistyksessä on otettava huomioon sideaineen reaktioaika eli missä ajassa tiivistys on suoritettava. Rankkasateella muotoilu ja tiivistys lopetetaan, kunnes päällystettävä kerros on kuivunut lähelle optimivesipitoisuutta. Täten estetään hienoaineksen pintaannousu. Jos sade jatkuu pitempään ja kerros pääsee kyllästymään, joudutaan suorittamaan stabilointi (MHST-A) uudelleen kyseiselle kohdalle lisäten tällöin n. ½ suunnitellusta aktivaattorin määrästä. Vastaavassa tilanteessa masuunihiekkastabilointi (MHST) sekoitetaan uudelleen.

6.2 Asemasekoitus

Mikäli rakenne päätetään tehdä asemasekoituksella, tehdään se sementtistabilointiohjeiden mukaisesti. / 4 /

6.3 Jälkihoito

Stabiloidun kerroksen jälkihoitoon voidaan käyttää tasauskerrosta AB 8-12 (50-80 kg/m²) tai bitumiemulsiota. Mikäli em. toimenpiteitä ei voida suorittaa välittömästi, pidetään kerroksen pinta kosteana kevyellä kastelulla.

7 LAADUNVALVONTA

Sidottuja rakenteita tehtäessä on ennakkokokeiden lisäksi suoritettava jatkuvaa laadunvalvontaa työn aikana. Tällöin seurataan masuunihiekan ja aktivaattorin määrää, sekoitetun massan mahdollista bitumipitoisuutta (vanha päällyste), vesipitoisuutta, tiiviyttä, tasaisuutta, poikkikallistusmuotoa ja kerrospaksuutta. Lisäksi tehdään silmämääräisiä havaintoja massan homogeenisuuden ja pinnan epätasaisuuden suhteen.

Laatumittaukset suoritetaan kaikista toimenpiteistä ja dokumentoidaan 100 m välein siten, että parillinen paalu on oikea kaista ja pariton paalu on vasen kaista. Koko tielinjan tulee täyttää kyseiset laatuksiteerit. Loppukesällä suoritetuista stabiloinnista varmistetaan rakenteen pakkaskestävyys, kerros-materiaalin lämpötila ei saisi laskea alle + 5°C. Käytännössä stabilointia ei suositella tehtäväksi syyskuun jälkeä.

7.1 Esijärsityn massan rakeisuus

Rakeisuusnäytteitä valmiista sekoitetusta sitomattomasta kerroksesta otetaan 1000 m välein (parillinen paalu oikea ja pariton vasen kaista), mistä tutkitaan rakeisuus, kosteus ja mahdollisen kerroksen bitumipitoisuus. Tarvittaessa tehdään Proctor-sullonnalla tilavuuspainomääritys Troxler-mittausta varten.

7.2 Stabilointijärsintä

Rakeisuusnäytteitä otetaan valmiista sidotusta kerroksesta vähintään 1000 m:n välein samoilla jaoilla ja määrittämällä kuin 7.1 kohdassa.

Masuunihiekkastabiloinnissa (MHST) näytteiden valmistus (kuivaus) tulee suorittaa n. 1 – 2 vuorokauden kuluessa stabiloinnista, ettei rakeistumista ehdi tapahtua.

Aktivoidussa masuunihiekkastabiloinnissa (MHST-A) näytteiden valmistus (kuivaus) tulee suorittaa n. 2 h kuluessa siitä, kun aktivaattori on lisätty kiviaineksen sekaan.

Mikäli kiviaines sisältää masuunihiekkaa, niin työstöaika jatkuu n. 2 tunnista n. 5 tuntiin siitä kun aktivaattori on lisätty kiviaineeseen sekaan. Rakenteen oikaisu, muotoilu ja tiivistys tulee suorittaa samoilla aikakriteereillä, jottei sitoutuminen ehdi alkaa ja tiivistyminen pysähtyä.

7.3 Vesipitoisuus

Rakenteen vesipitoisuutta tutkitaan Troxler-mittarilla ennen stabilointijärsintää mahdollisen lisäveden tarpeen määrittämiseksi. Työnaikaista vesipitoisuutta tulee mitata riittävän usein, jotta kastelusta ja sääolosuhteista johtuen lopullinen vesipitoisuus on lähellä optimivesipitoisuutta. Sateen sattuessa stabilointia ei tule aloittaa ennen kuin sekoitettava kerros kuivuu lähelle optimia. Noin 1 % kosteuden ylitys sallitaan, jos työnaikainen ilma on kuiva. Vesipitoisuus dokumentoidaan 100 m välein (oikea kaista on parillinen ja vasen kaista pariton paalu). Koko rakenteen tulee täyttää kosteudelle annetut laatukselliset eikä vesipesiä ja saumoja saa tielinjalla olla.

7.4 Masuunihiekan levitys

Masuunihiekan levitysmäärä mitataan asettamalla tielle 1 m²:n kokoinen jäykkä muovi tai levy ennen levitystä ja punnitsemalla levyllä tullut masuunihiekkamäärä. Menekkiä mitataan kuormittain, auton kuormavaan mukaan punnittu massamäärä levitettynä tietyllä neliömetrimäärällä. Yksittäismittauksen masuunihiekan sallittu poikkeama ohjeavosta on $\pm 5,0$ prosenttia. Työvuoroittain käytetty masuunihiekan määrän suurin sallittu poikkeama ohjeavosta on $\pm 2,0$ %

Määrittämiä tehdään aina työvuoron alussa ja menekkiä seurataan jokaisella autokuormalle ja koko työvuorolle. Levitysmäärät dokumentoidaan työvuoroittain ja kokonaismeneksi työkohteittain.

7.5 Aktivaattorin levitys

Aktivaattorin levitysmäärää tarkastetaan asettamalla tielle levittimen kohdalle 1 m² :n kokoinen jäykkä muovi tai levy ennen levitystä ja punnitsemalla levyllä tullut aktivaattorimäärä. Aktivaattorin määrää seurataan myös levittimessä olevalla kuormavaa'alla, mistä nähdään aktivaattorin menekki tietyllä neliömetrimäärälle. Yksittäisen tarkastuksen aktivaattorin määrän sallittu poikkeama on $\pm 5,0 \%$ Työvuorossa käytetyn koko aktivaattorin määrän sallittu poikkeama ohjeavosta on $\pm 2,0 \%$

Määrittämiä tehdään aina työvuoron alussa ja päivittäin tarpeen mukaan. Menekkiä tarkistetaan jokaiselle levitettylle aktivaattorin levityskaistalle. Lopuksi lasketaan koko työvuorossa käytetylle aktivaattorimäärälle. Aktivaattorin yksittäiset punnitukset dokumentoidaan työvuoroittain ja koko työkohteella käytetty aktivaattorimäärä dokumentoidaan työn päätyttyä.

7.6 Tasaus

Rakenteen taseus suoritetaan tielinjalla annetun ohjeen ja tason mukaan. Sallittu poikkeama ohjeavosta on ± 20 mm ellei toisin ole sovittu. Valmiin pinnan tasaisuus ja kaltevuus mitataan 3 m oikolaudalla. Suurin sallittu epätasaisuus 3 metrin matkalla on 12 mm. Sallittua suuremmat epätasaisuudet on korjattava.

Tasaisuutta voidaan tarvittaessa mitata palvelutasomittarilla. (PTM). Valmiin päällysteen päältä mitataan tasaisuutta palvelutasomittarilla, jossa vaatimus-rajat seuraavan taulukon (4) mukaan.

*Taulukko 4. Stabiloinnin tasaisuusvaatimukset päällysteen päältä mitattuna.
/ 11 / Päällystystyöt TIEL 2212802-2000*

ALUSTA	SUURIN SALLITTU EPÄTASAISUUS IRI (mm/m)		
	Mo- ja Mol-tiet	Muut 2-ajorataiset valta- ja kantatiet	Muut yleiset tiet
Tasattu	1,2	1,4	1,6
Tasaamaton	1,3	1,5	1,8

Valmiin stabiloidun rakenteen sivukaltevuus mitataan ja dokumentoidaan 100 m välein(parillinen paalu on oikea kaista ja pariton paalu vasen kaista). Laatuksiteerit tulee täyttyä koko tielinjalla. Sivukaltevuusvaatimukset ovat samat kuin stabiloinnin päälle tehtävälle päällysteelle asetetut vähimmäisarvot ellei suunnitelmissa ole muuta esitetty.

Suurin sallittu sivukaltevuuden poikkeama ohjeavosta on taulukon (5) mukaan.

Taulukko 5. Stabiloinnin poikkikallistuksen vaatimukset valmiin tason päältä mitattuna. / 11 / Päälystystyöt TIEL 2212802-2000

Mo- ja Mol-tiet	Vt- ja Kt-tiet	Seututiet	Yhdystiet
± 0,3 %-yksikköä	± 0,5 %-yksikköä	± 0,7 %-yksikköä	± 0,8 %-yksikköä

7.7 Tiiviys

Stabiloidun kerroksen tiiviyn yksittäisen arvon tulee olla vähintään 92 % ja keskiarvon vähintään 95 % parannetusta Proctor-tiiviystä tai koejyräyksellä määritellystä vertailuarvosta. Mittaus tehdään pintamittauksena. Vahvoilla kerrospaksuuksilla mittaus tehdään syvämittauksena mittaputkea käyttäen. Säteilymittauslaite kalibroidaan ennen mittauksen aloitusta (ks. Tienrakennuksen yleiset perusteet TIEL 2212454, kohta 42 Tiiviyn mittaus).

7.8 Kerrospaksuus

Sekoitettua kerrosvahvuutta seurataan jyrsimen sekoitusvyösymittarista ja mittaamalla sekoitusjyrsinän paksuutta jyrsinän reunasta. Valmiin kerroksen paksuutta mitataan satunnaisesti kaivamalla koekuoppia sekoitettuun kerrosrajaan asti. Yksittäinen mittaus saa poiketa ± 20 mm suunnitelman mukaisesta paksuudesta.

7.9 Puristuslujuus

Puristuslujuuden seuranta varten tehdään koelieriöitä Proctor-sullonnalla tai ICT-testerillä.

Näytemassa koelieriötä varten otetaan sekoitetusta rakenteesta jyrsimen keskiosalta mieluiten kahdesta näytteriästä. Samasta näytemassasta valmistetaan vähintään yksi koelieriösarja laboratoriosäilytystä ja tarvittaessa toinen sarja kenttäolosuhteita varten.

Masuunihiekkastabiloinnista (MHST) koelieriöitä tehdään 28, 91, 365 ja mahdolliset 730 vrk:n kappaleet.

Aktivoidussa masuunihiekkastabiloinnista (MHST-A) koelieriösarjat on 1, 7, 28, 91 ja 365 vrk:n kappaleet.

MHST:n koelieriöitten sullonta on saatettava loppuun n. 3 – 5 h kuluessa siitä kun masuunihiekka on sekoitettu kerrokseen ja on huolehdittava ettei koemassasta vesipitoisuus ehdi haihtua.

MHST-A:n lieriöt n. 2 h kuluessa sideaineen sekoituksesta, ettei veden haihtuminen ja sitoutuminen ehdi alkaa. Koelieriösarjoja suositellaan otettavaksi vähintään yksi koesarja alkavaa n. 5000 m² kohden samoin paalujaoiin, (oikea on parillinen ja vasen on pariton paalu) sekä dokumentoidaan laadunvalvontalomakkeelle.

Aktivoidussa masuunihiekkastabiloinnissa on työaikana tarkkailtava päivittäin yhden vuorokauden puristuslujuuden kehitystä ja tarvittaessa suhteitusta on korjattava aktivaattorin määrää muuttamalla, jotta saavutetaan suunniteltu lujuus.

7.10 Jälkiseuranta

Jälkiseurantaa tehdään tarvittaessa useamman vuoden seurantajaksoina. Masuunihiekan stabilointivaikutus kantavuusmittaustuloksiin alkaa n. 28 – 91 vrk:n kuluttua.

8 RAPORTOINTI

Rakentamiskohteista tehdään raportti, josta ilmenee

- Rakentamis-/ parantamiskohde
- Parantamistarpeen syyt, valittu tavoitekantavuus/ -puristuslujuus
- Tehdyt ennakkotutkimukset ja niiden tulokset
- Valittu resepti mitoitusohjelman mukaan
- Laadunvalvonnan tulokset
- Johtopäätökset

9 LÄHDELUETTELO

- /1/ Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa. Oulu 1997, Tielaitos, Konsultointi, Oulun kehitysyksikkö. Tielaitoksen selvityksiä 23/1997.
- /2/ Tien rakennekerrosmateriaalin stabilointi masuunikuonatuotteilla. Oulu 1996, Tielaitos, Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö, Tielaitoksen selvityksiä 29/1996.
- /3/ Rakentamisen laadunvarmistus, Alusrakenne ja päällysrakenteen sitomattomat kerrokset. Helsinki 1994, Tielaitos, Geokeskus, Valvonta ja laadunvalvonta.
- /4/ Sementtistabilointi, Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Helsinki 1993, Tielaitos, Kehittämiskeskus.
- /5/ Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen , väliraportti III: Materiaalitutkimuksia jalostetuista teollisuuden sivutuotteista. 1992. Kuopio. 76 s. Tielaitos, Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö. (Tiehallituksen sisäisiä julkaisuja 51/1992).
- /6/ Kloridin liukeneminen kuonasta. Tutkimusraportti. 1993. Rautaruukin tutkimuskeskus.
- /7/ Päällysrakenne. Julk.: Tie- ja vesirakennushallitus. Teiden suunnittelu. TVL:n ohjeet. Helsinki. Kansio B osa IV.
- /8/ Masuunihiekkastabilointi. Tielaitoksen selvityksiä 13/1996. Oulu 1996. 27 s. ISBN 951-726-192-6, TIEL 3200382.
- /9/ Raahen ja Koverharin masuunihiekkojen tekniset ominaisuudet (loppuraportti). Kuonat geotekniikassa-projekti. Tutkimusraportti 6/96. Oulu 1996.
- /10/ Masuunihiekan käyttö tierakenteissa pohjavesialueilla. VTT Yhdyskuntatekniikka. Lausunto nro 14/7/96 - YKI52. Espoo 28.10.1996. 6 s. + liitteet.

MASUUNIHIEKAN KEMIAALLISET ANALYYSIT

Raahe

Syyskuu 1999

Na ₂ O	0.69900
MgO	10.50000
Al ₂ O ₃	8.74000
SiO ₂	35.00000
P	0.00100
S	1.53000
Cl	0.00500
K ₂ O	0.58800
CaO	39.30000
Mn	0.46700
Fe	0.61200
Zn	0.00100
Yhteensä	100.10000

Marraskuu 1999

Na ₂ O	0.76300
MgO	10.10000
Al ₂ O ₃	8.50000
SiO ₂	35.60000
P	0.00200
S	1.27000
Cl	0.00600
K ₂ O	0.62600
CaO	39.60000
Mn	0.41400
Fe	0.68200
Zn	0.00000
Yhteensä	100.10000

Lokakuu 1999

Na ₂ O	0.73100
MgO	10.60000
Al ₂ O ₃	8.30000
SiO ₂	35.70000
P	0.00100
S	1.26000
K ₂ O	0.58100
CaO	39.40000
Mn	0.41800
Fe	0.50600
Zn	0.00300
Yhteensä	100.10000

Joulukuu 1999

Na ₂ O	0.70200
MgO	10.20000
Al ₂ O ₃	8.66000
SiO ₂	35.40000
P	0.00200
S	1.28000
K ₂ O	0.57600
CaO	39.40000
Mn	0.48600
Fe	0.76900
Zn	0.00500
Yhteensä	100.00000

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

3/1995	Kuormituskestävyyden tavoitekriteerit. TIEL 3200281
15/1995	Betonipäällysten seuranta, vt 4 Kempele-Kiviniemi, seurantaraportti nro 2. TIEL 3200293
20/1995	Sään ja hydrologisten tekijöiden vaikutus kevätkelirikkoon. TIEL 3200298
30/1995	TPPT:n laatusuunnitelma. TIEL 3200308
43/1995	Tukitelineperustusten kantokyky. TIEL 3200319
44/1995	Kaltevan maanpinnan vaikutus perustusten kantokykyyn. TIEL 3200320
45/1995	Maanvaraisten perustusten kantokyvyn laskenta elementtimenetelmällä. TIEL 3200321
54/1995	Veittostensuon koerakenteen toiminta ja laadun arviointi. TIEL 3200330
58/1995	Kestävän kehityksen tierakenteet - ideakilpailu. TIEL 3200333
94/1995	Stabiloidun maamassan leikkauslujuuden ja CPT-kairauksen välinen riippuvuus. TIEL 3200369
6/1996	Tuotannon laatu; Kuormitus ja routakestävyyssrakenteet. TIEL 3200375
13/1996	Masuunihiekkastabilointi. TIEL 3200382
16/1996	Tavoitekriteerit (TPPT). TIEL 3200385
17/1996	Moreenin hyötykäytön edistäminen murskausteknisin keinoin (TPPT). TIEL 3200386
29/1996	Tien rakennekerrosmateriaalin stabilointi masuunikuonatuotteilla. TIEL 3200397
32/1996	Häiriintymättömien maanäytteiden otto. TIEL 3200400
33/1996	Ödometrikoe. TIEL 3200401
34/1996	Sitomattomien materiaalien moduulit; Täydentävien kuormituskokeiden tulokset, osa 1. TIEL 3200402
35/1996	Havaintoteiden asfalttipäällysteiden moduulit. TIEL 3200403
36/1996	Eriste- ja kevennysmateriaalien routakestävyys; Palaturve. TIEL 3200404
37/1996	Koerakennekohteiden materiaalien routakestävyys; Pohjoiset kohteet. TIEL 3200405
38/1996	Rakenneratkaisujen alustava suunnittelu ja kehittäminen. TIEL 3200406
39/1996	Pilari- ja massastabiloinnin tuotantotekniikka. TIEL 3200407
44/1996	Sitomattomien materiaalien moduulit; Muutosmoduulin arviointi korkearakeisilla kiviaineksilla, osa 2. TIEL 3200412
46/1996	LD-teräskuona tienrakennusmateriaalina. TIEL 3200414
70/1996	Kantavan kerroksen asfalttibetoni; Referenssimateriaalin ominaisuudet. TIEL 3200437
77/1996	Syvästabilointi kehittyvänä pohjavahvistusmenetelmänä; International Conference IS-Tokio '96. TIEL 3200444

- 78/1996 Moreenin rakeistaminen pelleteimalla; Nykytilaselvitys. TIEL 3200445
- 4/1997 Siltojen perustusten geoteknisen mitoituksen vertailu eurocodien ja kansallisten ohjeiden mukaan. TIEL 3200452
- 5/1997 Tiepenkereen luonnonluiskan ja jäykän tukimuurirakenteen vertailevat mitoituslaskelmat eurocodien ja kansallisten ohjeiden mukaan. TIEL 3200453
- 11/1997 Betonipäällysteen seuranta vt 4 Kempele-Kiviniemi. Kuntoraportti TIEL 3200458
- 23/1997 Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200470
- 30/1997 Teiden pohjavesisuojausosissa käytettävien maatiivisteiden vedenläpäisevyyden määrittäminen. TIEL 3200476
- 35/1997 Palaturpeen käyttö tierakenteessa. TIEL 3200481
- 18/1998 Moreenin jalostaminen pelleteimalla. TIEL 3200509
- 23/1998 Hydraulisilla sideaineilla sidottujen materiaalien laadunvarmistus, osa 1: Sementillä sidotut materiaalit, kirjallisuusselvitys. TIEL 3200514
- 24/1998 hydraulisilla sideaineilla sidottujen materiaalien laadunvarmistus, osa 2: Sementillä sidottujen materiaalien jäätymis-sulamiskestävyys. TIEL 3200515
- 25/1998 Hydraulisilla sideaineilla sidottujen materiaalien laadunvarmistus, osa 3: Koekappaleiden valmistuksen ja säilytyksen vaikutus sementillä sidotun materiaalin lujuuteen. TIEL 3200516
- 29/1998 Sementtistabiloidut materiaalit, loppuraportti. TIEL 3200521
- 55/1998 Tuotannon laatu 1998
- 42/1999 Bitumi-sementti-komposiittien ominaisuudet ja tutkimusmenetelmät TIEL 3200585
- 17/2000 Life cycle assessment of road construction. TIEL 3200606E
- (Geotekniikan informaatiojulkaisuja:)**
- 2/1993 Massanvaihto. TIEL 3200127
- 21/1993 Pengerpaalutus. TIEL 3200147
- 24/1993 Tiegeotekniikan yleiset mitoitusperusteet. TIEL 3200150
- 39/1994 Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä. TIEL 3200248
- 42/1994 Nauhapystyöjitus. TIEL 3200251
- 67/1994 Maanvarainen tiepenger savikolla, suunnitteluohje. TIEL 3200276
- 79/1995 Tieleikkausten pohjatutkimukset. TIEL 3200354
- 79/1996 Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200446
- 18/1997 Syvästabiloinnin mitoitusohje. TIEL 3200465
- 28/1997 Tien kevennysrakenteet. TIEL 3200475